

Динамический магнитный отклик феррожидкости на переменное и постоянное магнитные поля, перпендикулярные друг другу

Парамонов Е.И.¹, Нехорошкова Ю.Е.

Научный руководитель: Елфимова Е.А.², д.ф.-м.н., доцент, заместитель директора института по научной работе

Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет

¹egor.boolka@gmail.com; ²ekaterina.elfimova@urfu.ru

Данная работа посвящена исследованию динамического магнитного отклика феррожидкости на слабое линейно поляризованное поле переменного тока в присутствии постоянного магнитного поля. В исследовании учитывается межчастичное взаимодействие.

Феррожидкость моделируется системой однородно намагниченных твердых сферических частиц, взвешенных в длинной цилиндрической трубке, длинная ось которой совпадает с осью координат Oz . Магнитное поле переменного тока перпендикулярно оси Oz , тогда как вдоль оси Oz приложено постоянное магнитное поле: $\mathbf{H} = (0, \alpha_a e^{i\omega t}, \alpha_s)$ (t означает время, α_s и α_a - параметры Ланжевена, характеризующие интенсивность взаимодействия феррочастицы с постоянным и переменным магнитными полями соответственно, ω является частотой колебания). Предполагается, что релаксация магнитного момента частиц происходит по броуновскому механизму. Плотность вероятности ориентации магнитного момента μ_i i -ой случайно выбранной частицы $W(t, \theta_i, \varphi_i)$ является решением уравнения Фоккера-Планка, в котором учитывается действие статического поля и межчастичных взаимодействий при помощи члена U_e :

$$2\tau \frac{\partial W}{\partial t} = \nabla^2 W + \nabla \cdot (W \nabla U_e),$$

где τ - характерное время релаксации магнитного момента феррочастицы. В [1] было показано, что эффективное взаимодействие U_e между одной частицей и эффективным магнитным полем равно

$$U_e = U_h + n \langle \bar{W}(t, \theta_1, \varphi_1) \bar{W}(t, \theta_2, \varphi_2) U_{dd}(1,2) \rangle_2.$$

Второе слагаемое в U_e учитывает межчастичные корреляции. Диполь-дипольное взаимодействие ($U_{dd}(1,2)$) между частицами 1 и 2 усреднено по всем возможным ориентациям и положениям случайно выбранной частицы 2 ($\langle \dots \rangle_2$); $\bar{W}(t, \theta_i, \varphi_i)$ является одночастичной плотностью вероятности. Первый член $U_h = -(\mu_1, \mathbf{H})/kT$ описывает взаимодействие случайно выбранной первой частицы с полями переменного и постоянного тока и имеет вид отношения зеемановской энергии к тепловой энергии kT .

Решение уравнения Фоккера-Планка выражается в виде ряда по сферическим функциям. Для определения динамической восприимчивости используется аналитическое решение уравнения Фоккера-Планка. Проанализировано поведение действительной и мнимой частей динамической восприимчивости как функции интенсивности постоянного магнитного поля: с увеличением напряженности постоянного магнитного поля действительная часть восприимчивости в низкочастотной области смещается вниз, а максимум мнимой части восприимчивости уменьшается и смещается в область высоких частот.

Теория была проверена на результатах компьютерного моделирования и оказалась согласованной.

Литература

1. A.O. Ivanov, V.S. Zverev, S. S. Kantorovich, *Soft Matter*, **15** 3507–3513 (2016).